



Рис. 1. Схема жидкофазного спекания нитридокремниевых материалов

образом трение. В качестве таких добавок могут быть использованы, например, углеродные нанотрубки и нитрид бора.

В работе методом горячего прессования получены образцы керамических материалов на основе нитрида кремния с относительной плотностью до 100%, экспериментально доказано положительное влияние спекающих добавок в системах $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Y}_2\text{O}_3$, $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Y}_2\text{O}_3\text{-MgO}$, $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CeO}_2$ на уплотнение материала во время спекания.

Установлено, что при введении в состав материала добавки MgO фазовый переход $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ в $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ при температуре спекания 1800°C затруднен. Повышение температуры горячего прессования до 1900°C способствует полному

переходу нитрида кремния в β -фазу.

Показано, что полученные керамические материалы имеют высокий уровень физико-механических свойств (микротвердость и коэффициент трещиностойкости K_{IC} достигают 18 МПа и $8,9 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, соответственно), что делает их перспективными для дальнейших исследований и отработки технологических параметров получения.

Экспериментально показана принципиальная возможность снижения коэффициента трения нитридокремниевой керамики за счет введения модифицирующих добавок многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) и BN. Бóльший эффект наблюдается при использовании МУНТ.

Список литературы

1. Komeya K., Tatami J. *Seeds innovation and bearing applications of silicon nitride ceramics // Key Engineering Materials. – Trans Tech Publications, 2007. – Т.352. – С.147–152.*
2. Кульметьева В.Б., Порозова С.Е., Сметкин А.А. *Перспективные композиционные и керамические материалы. Учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. – 276с.*
3. Ю.С. Елисеев, С.А. Колесников и др. *«Неметаллические КМ в элементах конструкций и производстве авиационных газотурбинных двигателей».* – Москва, изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.
4. Андриевский Р.А. *Нитрид кремния – синтез и свойства // Успехи химии, 1995. – Т.64. – №4. – С.311–329.*

НОВЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ Pd-M (M-Sn, Ga) НАНОЧАСТИЦ

И.С. Бондарчук

Научный руководитель – д.ф.м.н., профессор И.А. Курзина

Национальный исследовательский Томский государственный университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 36, ivanich_91@mail.ru

В последнее время одним из интересных направлений в создании нанесенных каталитических систем является использование материалов на основе биметаллических наночастиц.

Варьированием соотношения металлов в биметаллических наночастицах можно регулировать активность и селективность таких систем. В этом плане особый интерес представляют би-

металлические системы на основе палладия. Наиболее перспективными представляются нанесенные системы, содержащие олово и галлий в качестве второго металла, что обусловлено возможностью формирования широкого спектра интерметаллических соединений и широкими перспективами применения в гетерогенном катализе. Нанесенные системы на основе биметаллических Pd–Sn и Pd–Ga наночастиц проявляют высокую активность и селективность в различных каталитических процессах. Например, одним из перспективных подходов к использованию Pd–Sn биметаллических систем является их применение в селективном гидрировании 1,3-бутадиена, каталитическом удалении нитратов из сточных вод. В свою очередь Pd–Ga биметаллические системы могут быть использованы в селективном гидрировании ацетилена в этилен, синтезе метанола.

Как известно, эффективность нанесенных систем определяется химическим составом, структурой предшественника нанесенного металла и распределением металлической фазы на поверхности носителя. Применение объемных металлорганических комплексов, например, ацетилацетонатов металлов, способствует получению высокодисперсных наночастиц за счет большой площади требуемой адсорбционной площадки, что препятствует посадке металлических центров близко друг к другу. В качестве предшественников для получения нанесенных систем на основе биметаллических Pd–Sn и Pd–Ga наночастиц представляет интерес использование ацетилацетонатных комплексов Pd(acac)₂, Sn(acac)₂Cl₂ и Ga(acac)₃, что обусловлено возможностью формирования более высокой дисперсности активного компонента по сравнению с предшественниками на основе неорганических солей металлов. Данный подход можно применить для формирования биметаллических частиц нанометрового масштаба на поверхности носителя. Таким образом, задача разработки новых методик синтеза нанесенных биметаллических наночастиц, содержащих палладий, с добавками олова и галлия разложением

ацетилацетонатных предшественников является актуальной.

Цель настоящей работы состояла в разработке методики получения и формирование моно-Pd и биметаллических Pd–M (M–Sn, Ga) наночастиц на поверхности носителя γ -Al₂O₃. Моно- и биметаллические наночастицы синтезировали путем пропитки носителя γ -Al₂O₃ ($S_{уд} = 335 \text{ м}^2/\text{г}$; $V_{пор} = 0,44 \text{ см}^3/\text{г}$) в многократном избытке растворителя заданными количествами Pd(acac)₂, Sn(acac)₂Cl₂, Ga(acac)₃, предварительно растворенных в толуоле с последующим отгонкой избытка растворителя. Термическое разложение соответствующих металлорганических предшественников, адсорбированных на поверхности γ -Al₂O₃, проводилось в атмосфере аргона при 500 °С в течение 2 ч. Окислительно-восстановительные обработки включали стадии прокаливания в атмосфере кислорода при 350 °С в течение 2 ч., удаления кислорода продувкой потоком аргона при 18 °С в течение 0,5 ч. и восстановления в атмосфере водорода при 500 °С в течение 2 ч. Суммарное массовое содержание Pd и второго металла (M–Sn, Ga) оставалось постоянным и составляло 1,2 % масс., при этом варьировалось атомное соотношение Pd/M между палладием и вторым металлом (M–Sn, Ga), которое составляло 1 или 3.

В представленной работе была разработана методика синтеза биметаллических Pd–Sn, Pd–Ga систем, нанесенных на поверхность γ -Al₂O₃, которая заключалась в совместном нанесении металлорганических солей соответствующих металлов из раствора в толуоле. Проведен синтез моно- Pd и биметаллических Pd–Sn, Pd–Ga наночастиц, нанесенных на поверхность γ -Al₂O₃. Комплексом физико-химических методов проведено сравнительное изучение моно- Pd и биметаллических Pd–Sn, Pd–Ga наночастиц, нанесенных на γ -Al₂O₃.

Работа выполнена в рамках программы поддержки ТГУ по повышению конкурентоспособности ведущих российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

Список литературы

1. Бондарчук И.С. *Магистерская диссертация по направлению подготовки 04.04.01 – Химия.* – Томск: Томский государственный университет, 2017. – 55с.
2. *Режим доступа:* <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vital:5620>.